



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenl gungsschrift  
⑩ DE 196 31 909 A 1

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
F 01 L 9/04

②1 Aktenzeich n: 196 31 909.9  
②2 Anmeldetag: 7. 8. 96  
④3 Offenlegungstag: 13. 2. 97

DE 196 31 909 A 1

③0 Innere Priorität: ③2 ③3 ③1  
08.08.95 DE 195291549

⑦1 Anmelder:  
FEV Motorentechnik GmbH & Co. KG, 52078 Aachen,  
DE

⑦4 Vertreter:  
Patentanwälte Maxton & Langmaack, 50968 Köln

⑦2 Erfinder:  
Kather, Lutz, Dipl.-Ing., 52146 Würselen, DE; Schrey,  
Ekkehardt, Dr.-Ing., 52078 Aachen, DE; Schmitz,  
Günter, Dr.-Ing., 52074 Aachen, DE

⑤4 Verfahren zur Justierung der Ruhelage des Ankers an einem elektromagnetischen Aktuator

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Justierung eines elektromagnetischen Aktuators mit zwei im Abstand zueinander angeordneten Elektromagneten und einem gegen die Kraft jeweils einer Rückstellfeder durch die Magnetkräfte hin- und herbewegbaren und bei stromlosen Elektromagneten in einer Ruhelage zwischen den Elektromagneten befindlichen Anker und mit Mitteln zum Einstellen der Ruhelage, bei dem die Induktivität der beiden Elektromagneten jeweils gemessen wird und aus einem Vergleich der beiden gemessenen Induktivitätswerte die Stellung des Ankers in der Ruhelage in bezug auf die Polflächen der Elektromagneten abgeleitet wird.

DE 196 31 909 A 1

Di folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 12. 96 602 067/578

6/24

## Beschreibung

Bei elektromagnetischen Aktuatoren, wie sie beispielsweise an Kolbenbrennkraftmaschinen zur Betätigung der Gaswechselventile eingesetzt werden, besteht die Anforderung, hohe Schaltgeschwindigkeiten bei gleichzeitig hohen Schaltkräften zu realisieren. Speziell zur Betätigung der Gaswechselventile an Kolbenbrennkraftmaschinen weist ein derartiger elektromagnetischer Aktuator einen mit dem zu betätigenden Stellglied, hier dem Gaswechselventil, verbundenen Anker auf, der durch zwei gegeneinanderwirkende Rückstellfedern in einer Ruheposition zwischen zwei Elektromagneten gehalten wird und der bei Bestromung der Elektromagneten wechselweise durch den einen als Schließmagneten und den anderen als Öffnermagneten arbeitenden Elektromagneten aus der Ruhelage angezogen und für die Dauer der jeweiligen Strombeaufschlagung in der betreffenden Schließstellung bzw. Öffnungsstellung gehalten wird.

Zur Betätigung des Gaswechselventils, d. h. zur Einleitung der Bewegung aus der geschlossenen in die geöffnete Position und umgekehrt, wird jeweils der Haltestrom an dem haltenden Elektromagneten abgeschaltet. Hierdurch fällt die Haltekraft des betreffenden Elektromagneten unter die Federkraft der Rückstellfeder ab und der Anker beginnt, durch die Federkraft beschleunigt, sich zu bewegen. Nach dem Durchgang des Ankers durch seine Ruheposition wird der "Flug" des Ankers durch die Federkraft der gegenüberliegenden Rückstellfeder abgebremst. Um nun den Anker in der anderen Position zu fangen und zu halten, wird der betreffende Elektromagnet bestromt.

Die Verwendung elektromagnetischer Aktuatoren für die Gaswechselventile bietet den Vorteil, daß hier eine anpassungsfähige Steuerung für das Ein- und Ausströmen des Arbeitsmediums möglich ist, so daß der Arbeitsprozeß nach den durch den Betrieb gewünschten Parametern optimal beeinflusst werden kann. Der Ablauf der Steuerung hat dabei großen Einfluß auf die unterschiedlichen Betriebsparameter, beispielsweise die Zustände des Arbeitsmediums im Einlaßbereich, im Arbeitsraum und im Auslaßbereich sowie auf die Vorgänge im Arbeitsraum selbst. Da Kolbenbrennkraftmaschinen bei sehr unterschiedlichen Betriebszuständen instationär arbeiten, ist eine entsprechend variable Steuerung der Gaswechselventile vorteilhaft.

Eine derartige elektromagnetische Schaltanordnung für Gaswechselventile ist beispielsweise aus DE-C-30 24 109 bekannt.

Ein wesentliches Problem bei der Steuerung derartiger elektromagnetischer Aktuatoren ist die Zeitgenauigkeit, die insbesondere bei einer Steuerung der Motorleistung für die Einlaßventile an einer Kolbenbrennkraftmaschine erforderlich ist. Eine genaue Steuerung der Zeiten wird durch fertigungsbedingte Toleranzen, im Betrieb auftretende Verschleißerscheinungen sowie durch unterschiedliche Betriebszustände, beispielsweise wechselnde Lastanforderungen und wechselnde Arbeitsfrequenzen erschwert, da diese äußeren Einflüsse zeitrelevante Zeitparameter des Systems beeinflussen können. Eine Voraussetzung für eine genaue und zuverlässige Betätigung der Gaswechselventile ist eine exakte Einstellung der Ruhelage des Ankers in der Mitte zwischen den beiden Elektromagneten bei stromlos gesetzten Spulen.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Justierung eines derartigen elektroma-

gnetischen Aktuators zu schaffen, der auch eine automatisierte Einstellung der Ruhelage ermöglicht.

Diese Aufgabe wird nach dem erfindungsgemäßen Verfahren dadurch gelöst, daß die Induktivität der beiden Elektromagneten jeweils gemessen wird und aus einem Vergleich der beiden gemessenen Induktivitätswerte die Stellung des Ankers in der Ruhelage in bezug auf die Polflächen der Elektromagneten abgeleitet wird. Bei dieser Verfahrensweise wird mit Vorteil ausgenutzt, daß die Lage des Ankers zwischen den beiden Magneten einen direkten Einfluß auf die Induktivität der Spulen der Elektromagneten hat. Ist nun für den zu messenden elektromagnetischen Aktuator vorgegeben, daß die Ruhelage des Ankers in der Mitte zwischen den beiden Polflächen der Elektromagneten liegen soll, dann kann angenommen werden, daß bei gleicher Auslegung der Spulen der beiden Elektromagneten der Anker sich in seiner der Ruhelage entsprechenden Mittellage befindet, wenn die beiden gemessenen Induktivitätswerte gleich sind. Wird eine Abweichung festgestellt, kann davon ausgegangen werden, daß die Mittellage nicht eingehalten ist.

Wird eine derartige Abweichung festgestellt, dann ergibt sich im Hinblick auf die eingangs beschriebenen Bewegungsvorgänge, daß sowohl beim Abschalten des Haltestroms über den zeitverzögerten Abbau des haltenden Magnetfeldes als auch beim Aufbau des Magnetfeldes am "fangenden" Elektromagneten aufgrund der unterschiedlichen Abstände des Ankers zu den Polflächen auch entsprechend unterschiedliche Kraftwirkungen über die Rückstellfedern jeweils zu überwinden sind und hierdurch Zeitungenauigkeiten für einen Bewegungsvorgang gegeben sind. Wird nun über entsprechende Stellmittel auf die Rückstellfedern eingewirkt und die Ruhelage so eingestellt, daß der gemessene Induktivitätswert für beide Elektromagneten gleich ist, dann nimmt der Anker die für die jeweilige Kraftwirkung entscheidende Mittellage in der Ruhelage ein. Voraussetzung ist jedoch bei dieser Maßnahme, daß beide Elektromagneten baugleich sind und tatsächlich auch gleiche Induktivitäten besitzen. Da die Messung elektrisch erfolgt, kann durch einen Soll-Ist-Vergleich mit einem vorgegebenen Wert ein entsprechendes Stellsignal erzeugt werden, daß zur Anzeige gebracht werden kann und somit eine manuelle Einstellung der Ruhelage ermöglicht. In gleicher Weise kann das Stellsignal aber auch auf eine automatisch arbeitende Stelleinrichtung aufgeschaltet werden, so daß hier eine automatisierte Einstellung der Ruhelage möglich ist. Dieses Verfahren kann sowohl bei einer Wartungsdiagnose an einer Kolbenbrennkraftmaschine eingesetzt werden, wie auch bei der Fertigung derartiger elektromagnetischer Aktuatoren. Hierbei ist es dann zweckmäßig, um zu große Toleranzabweichungen zu vermeiden, wenn vor einem Zusammenbau der elektromagnetischen Aktuatoren die hierzu notwendigen einzelnen Elektromagneten bereits bei der Fertigung in bezug auf ihre Induktivität gemessen und so innerhalb entsprechender Toleranzfelder zueinander passende Elektromagneten zu einem Aktuator zusammengebaut werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren läßt sich in entsprechender Weise auch dann anwenden, wenn Rückstellfedern mit unterschiedlichen Kennlinien und/oder unterschiedlicher Vorspannung eingesetzt werden mit dem Ziel, eine Ruhelage vorzugeben, die von der geometrischen Mittellage zwischen den beiden Polflächen abweicht. Entsprechendes gilt auch dann, wenn für die Darstellung bestimmter Betriebsweisen Elektromagne-

ten mit unterschiedlichen Induktivitätswerten eingesetzt werden sollen. In diesem Fall muß bei einem Vergleich der beiden gemessenen Induktivitätswerte eine vorgegebene Meßwertdifferenz eingehalten werden, wenn der Anker die vorgegebene Ruhelage einnehmen soll.

In einer anderen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß der Anker jeweils an die Polfläche angelegt und dann die Induktivität des jeweiligen Elektromagneten bei anliegendem Anker gemessen und der Meßwert und/oder die Differenz beider Meßwerte mit einem vorgegebenen Meßwert verglichen und daraus ein Korrekturwert für ein Stellsignal abgeleitet wird. Dieser vorgegebene Meßwert bzw. die Abweichung von dem vorgegebenen Meßwert und/oder ein daraus abgeleitetes Stellsignal kann nun zur Kalibrierung des Aktuators herangezogen werden, da die beiden Induktivitäten bei jeweils anliegendem Anker im gleichen Verhältnis zueinanderstehen müssen, wie in der vorgegebenen Ruhelage. Der Anker kann hierbei über mechanische Mittel und/oder über einen Haltestrom an dem betreffenden Elektromagneten anliegend gehalten werden.

Die Erfindung wird anhand schematischer Zeichnungen eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen elektromagnetischen Aktuator an einem Gaswechselventil,

Fig. 2 eine Schaltung zur Erfassung der Ankerstellung in der Ruhelage.

Die Zeichnung gem. Fig. 1 zeigt schematisch einen elektromagnetischen Aktuator 1, der einen mit einem Gaswechselventil 2 verbundenen Anker 3 sowie einen dem Anker 3 zugeordneten Schließmagneten 4 und einen Öffnermagneten 5 aufweist. Der Anker 3 wird über Rückstellfedern 6 und 7 bei stromlos gesetzten Magneten in einer Ruhelage zwischen den beiden Magneten 4 und 5 gehalten, wobei der jeweilige Abstand zu den Polflächen 8 der Magneten 4 und 5 von der Auslegung der Federn 6 und 7 abhängt. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel sind die beiden Federn 6 und 7 gleich ausgelegt, so daß die Ruhelage des Ankers 3 sich in der Mitte zwischen den beiden Polflächen 8 befindet, wie dies in der Zeichnung dargestellt ist.

Es wird nun davon ausgegangen, daß die Rückstellfedern 6 und 7 in ihrer Kennlinie identisch sind, so daß über ein Stellmittel 9 zur Einstellung der Federvorspannung die genaue geometrische Mittellage zwischen den Polflächen 8 als Ruhelage eingestellt werden kann.

In der Schließstellung des Gaswechselventils 2 liegt der Anker 3 an der Polfläche des Schließmagneten 4 an. Zur Betätigung des Gaswechselventils 2, d. h. zur Einleitung der Bewegung aus der geschlossenen Position in die geöffnete Position, wird der Haltestrom am Schließmagneten 4 abgeschaltet. Hierdurch fällt die Haltekraft des Schließmagneten 4 und die Federkraft der Rückstellfeder 6 ab und der Anker 3 beginnt, durch die Federkraft beschleunigt, sich zu bewegen. Nach dem Durchgang des Ankers 3 durch die Mittellage, die auch der Ruhelage bei stromlos gesetzten Magneten entspricht, wird der "Flug" des Ankers durch die Federkraft der dem Öffnermagneten 5 zugeordneten Rückstellfeder 7 abgebremst. Um nun den Anker 3 in der Öffnungsposition zu fangen und zu halten, wird der Öffnermagnet 5 mit Strom beaufschlagt, so daß der Anker 3 an der Polfläche 8 des Öffnermagneten zur Anlage kommt und dort über die vorgesehene Öffnungszeit gehalten wird. Zum Schließen des Gaswechselventils erfolgt dann der Schaltungs- und Bewegungsablauf in umge-

kehrter Richtung.

Sind nun fertigungsbedingt die Kennlinien der beiden Rückstellfedern 6 und 7 unterschiedlich, so weicht die Ruhelage des Ankers 3 von der geforderten geometrischen Mittellage zwischen den beiden Elektromagneten ab, so daß sich unterschiedliche Luftspalte und damit ungleiche Magnetkraftwirkungen auf den Anker 3 ergeben und damit keine exakt gleichen Flugzeiten für beide Bewegungsrichtungen vorhanden sind.

Durch eine Verschiebung des Ankers 3 über das Stellmittel 9 in die genaue Mittellage in bezug auf die beiden Polflächen 8 der einander zugeordneten Elektromagneten 4 und 5 kann nun für beide Elektromagneten der Unterschied in der Induktivität in der Ruhelage ausgeglichen und gleiche Anzugsbedingungen geschaffen werden.

Es ist aber auch möglich, über entsprechende Stellmittel bei unveränderter Federvorspannung die Position eines oder beider Magneten in bezug auf den Anker 3 zu verschieben um hier die genaue Mittellage einjustieren zu können. Da die beiden Elektromagneten 4 und 5 in einem Gehäuse 10 gehalten sind, ist hier konstruktiv auch die Möglichkeit gegeben, bei unveränderter Vorspannung der Rückstellfedern 6 und 7 einen oder beide Elektromagneten in bezug auf den Anker 3 im Gehäuse zu verschieben und so für beide Elektromagneten gleiche, durch den Anker bedingte Induktivitätsbedingungen zu schaffen.

Fig. 2 zeigt schematisch eine Schaltung zur Erfassung der Induktivität an einem Aktuator gem. Fig. 1 beispielsweise durch Erzeugung einer Spannung, die proportional zur Abweichung von der Sollruhelage ist und aus der die Stellung des Ankers abgeleitet werden kann.

Eine Wechselspannungsquelle 11 erzeugt eine etwa sinusförmige Spannung, beispielsweise  $\hat{u}_1(t) = u \cdot \sin(\omega t)$ . In einem Invertierer 12 wird hieraus eine gegenphasige Spannung, also  $\hat{u}_2(t) = -\hat{u}_1 \cdot \sin(\omega t)$ . Diese beiden Spannungen werden den beiden Spulen 4.1 und 5.1 des Aktuators zugeführt. Diese sind mit ihrem jeweils anderen Anschluß miteinander verbunden. Dieser gemeinsame Anschluß 15 wird nun einem Synchrongleichrichter 16 zugeführt, der die Spannung des Anschlusses 15 mit Hilfe der Referenzspannung aus der Quelle 11 phasenweise gleichrichtet. Diese so gewonnene Gleichspannung wird einem Differenzbildner 17 zugeführt, der von dieser Gleichspannung den Sollwert des Eingangs 18 subtrahiert. Am Ausgang 19 kann nun das für die Abweichung der Ruhelage von der Sollposition (charakterisiert durch die Sollwertvorgabe 18) entnommen werden.

Die Schaltung funktioniert folgendermaßen: Am Mittelanzapfungspunkt 15 der Spulen 4.1 und 5.1 entsteht eine Spannung  $\hat{u}_{15} = (L_1 - L_2)/(L_1 + L_2) \cdot \hat{u}_{11}$ , wenn die Induktivität der oberen Spule 4.1 und  $L_2$  die Induktivität der unteren Spule 5.1 ist. Hinter dem Synchrongleichrichter 16 entsteht eine Gleichspannung der Größe  $U_{16} = (L_1 - L_2)/(L_1 + L_2) \cdot \hat{u}_{11}$ . Demgemäß entspricht diese Spannung der Differenz der Induktivitäten  $L_1$  und  $L_2$  inklusive dem entsprechenden Vorzeichen. Sind beide Induktivitäten gleich, so ist auch diese Spannung gleich Null. Dies würde einer genauen Mittellage des Magnetankers entsprechen. Möchte man allerdings aus bestimmten Gründen keine Ruhelage, die exakt in der Mitte liegt, oder sind fertigungsbedingt oder aus technischen Notwendigkeiten die Induktivitäten der Spulen von Hause aus nicht gleich, so kann dies durch Vorgabe eines Sollwertes 18 berücksichtigt werden, der dann auf den Wert eingestellt wird, der der Induktivitätsdifferenz

bei der gewünschten Sollposition des Ankers entspricht. Durch Subtraktion dieses Sollwertes von dem Meßwert erhält man dann weiterhin eine korrekte Aussage am Ausgang 19, in welche Richtung und um welchen Betrag man die Ruhelage korrigieren muß.

Die Spannung am Ausgang 19 kann nun zur Anzeige gebracht werden und eine Einstellung der gewünschten Ruhelage von Hand über ein entsprechend ausgebildetes Einstellmittel vorgenommen werden. Es ist aber auch möglich, über ein mit einem Stellantrieb ausgerüstetes Einstellmittel 9 eine gesteuerte Einstellung, ggf. automatisch vorzunehmen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Justierung eines elektromagnetischen Aktuators mit zwei im Abstand zueinander angeordneten Elektromagneten und einem gegen die Kraft jeweils einer Rückstellfeder durch die Magnetkräfte hin- und herbewgbaren und bei stromlosen Elektromagneten in einer Ruhelage zwischen den Elektromagneten befindlichen Anker und mit Mitteln zum Einstellen der Ruhelage, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Induktivität der beiden Elektromagneten jeweils gemessen wird und aus einem Vergleich der beiden gemessenen Induktivitätswerte die Stellung des Ankers in der Ruhelage in bezug auf die Polflächen der Elektromagneten abgeleitet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei einer Abweichung vom vorgegebenen Induktivitätswert ein Stellsignal erzeugt und das zur Einstellung einer vorgegebenen Ruhelage das Mittel zum Einstellen der Ruhelage entsprechend verstellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Anker jeweils an die Polfläche angelegt und dann die Induktivität des jeweiligen Elektromagneten bei anliegendem Anker gemessen und der Meßwert und/oder die Differenz beider Meßwerte mit einem vorgegebenen Wert verglichen und daraus ein Korrekturwert für ein Stellsignal abgeleitet wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

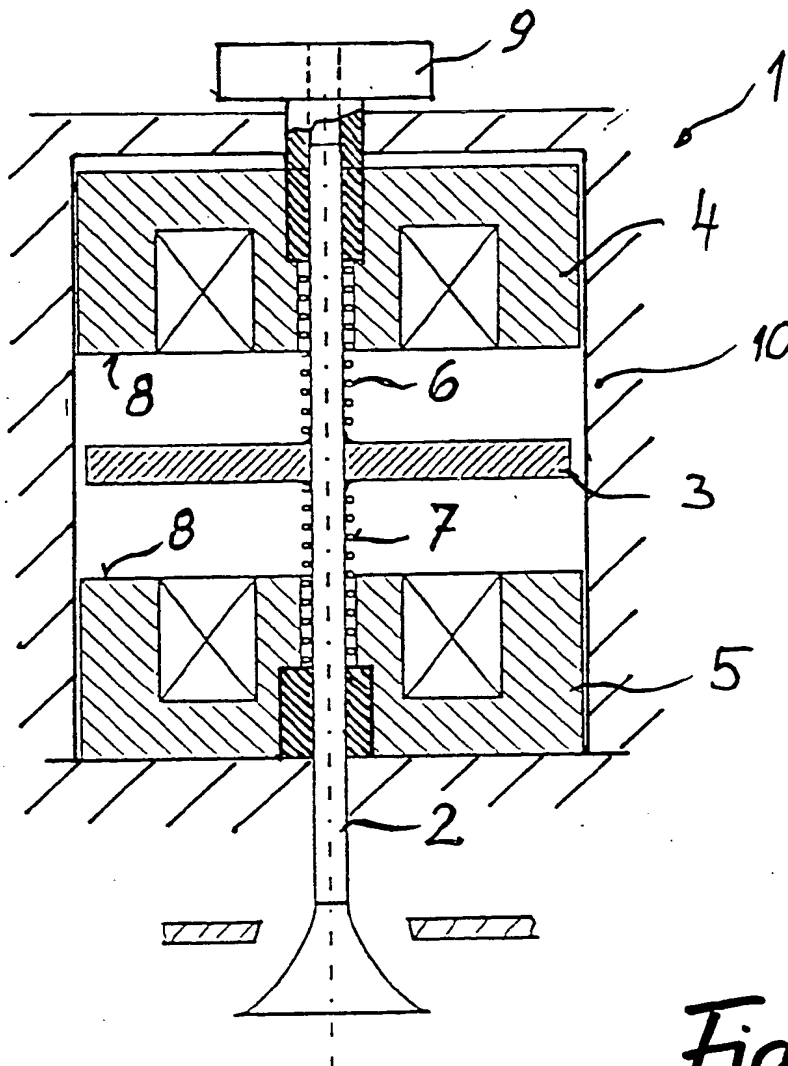


Fig. 1

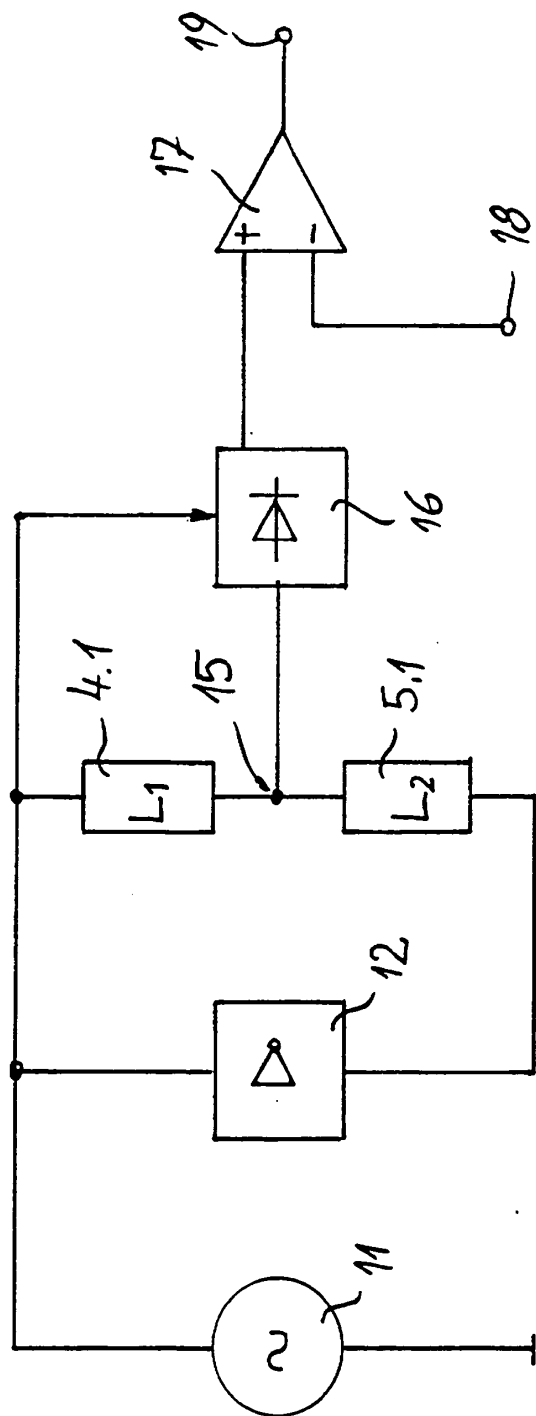


Fig. 2